

P23525.P04

IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE

Applicant : Shinobu UEZONO et al.

Serial No. : Not Yet Assigned

Filed : Concurrently Herewith

For : SURVEYING SYSTEM

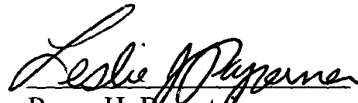
CLAIM OF PRIORITY

Commissioner for Patents
P.O. Box 1450
Alexandria, Virginia 22313-1450

Sir:

Applicant hereby claims the right of priority granted pursuant to 35 U.S.C. 119 based upon Japanese Application No. 2002-190599, filed June 28, 2002. As required by 37 C.F.R. 1.55, a certified copy of the Japanese application is being submitted herewith.

Respectfully submitted,
Shinobu UEZONO et al


Bruce H. Bernstein
Reg. No. 29,027
Reg 16
33,329

June 26, 2003
GREENBLUM & BERNSTEIN, P.L.C.
1950 Roland Clarke Place
Reston, VA 20191
(703) 716-1191

日 本 国 特 許 庁
JAPAN PATENT OFFICE

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office

出 願 年 月 日
Date of Application:

2002年 6月28日

出 願 番 号
Application Number:

特願2002-190599

[ST.10/C]:

[JP2002-190599]

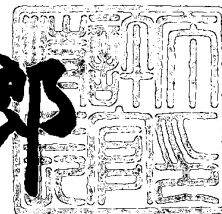
出 願 人
Applicant(s):

ペンタックス株式会社

2003年 4月 1日

特 許 庁 長 官
Commissioner,
Japan Patent Office

太田 信一郎



出証番号 出証特2003-3022574

【書類名】 特許願

【整理番号】 AP02298

【提出日】 平成14年 6月28日

【あて先】 特許庁長官殿

【国際特許分類】 G01C 11/00
G01C 15/00

【発明者】

【住所又は居所】 東京都板橋区前野町2丁目36番9号 旭光学工業株式会社内

【氏名】 上園 忍

【発明者】

【住所又は居所】 東京都板橋区前野町2丁目36番9号 旭光学工業株式会社内

【氏名】 白井 雅実

【発明者】

【住所又は居所】 東京都板橋区前野町2丁目36番9号 旭光学工業株式会社内

【氏名】 津田 浩二

【発明者】

【住所又は居所】 東京都板橋区前野町2丁目36番9号 旭光学工業株式会社内

【氏名】 金子 敦美

【発明者】

【住所又は居所】 東京都板橋区前野町2丁目36番9号 旭光学工業株式会社内

【氏名】 小川 良太

【特許出願人】

【識別番号】 000000527

【住所又は居所】 東京都板橋区前野町2丁目36番9号

【氏名又は名称】 旭光学工業株式会社

【代理人】

【識別番号】 100090169

【弁理士】

【氏名又は名称】 松浦 孝

【手数料の表示】

【予納台帳番号】 050898

【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【包括委任状番号】 9002979

【プルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 自動測量システム

【特許請求の範囲】

【請求項 1】 測量を行うための測量手段と、

前記測量手段に対する位置関係が知られた測量現場の概観画像の中で任意に指定される点に対する共線条件を規定する直線を共線として求める共線算出手段と

、
前記測量手段の視準方向を前記共線に沿って移動するように前記測量手段を制御する視準方向制御手段と、

前記視準方向制御手段の駆動中に、前記測量手段を用いて前記視準方向の測量を行い、測量される物点の位置が前記共線上の点となる位置を探索する物点探索手段とを備え、

前記物点探索手段により求められた位置が前記概観画像上において指定された点に対応する物点である

ことを特徴とする自動測量システム。

【請求項 2】 前記自動測量システムが、前記測量手段と前記概観画像との間の位置関係を算出する位置関係算出手段を備え、前記位置関係が 3 以上の任意に設定された基準点の測量情報と、前記基準点の前記概観画像上の位置との関係から算出されることを特徴とする請求項 1 に記載の自動測量システム。

【請求項 3】 前記自動測量システムが、前記概観画像上の位置を指定するための入力手段を備え、前記基準点の位置が前記入力手段により前記概観画像上の任意の位置を指定することにより決定されることを特徴とする請求項 2 に記載の自動測量システム。

【請求項 4】 前記自動測量システムが、前記概観画像上の位置を指定するための入力手段を備え、前記物点探索手段で探索の対象となる前記概観画像上の任意の点が前記入力手段により指定されることを特徴とする請求項 1 に記載の自動測量システム。

【請求項 5】 前記入力手段により、前記概観画像上の任意の直線又は曲線

を指定することが可能であり、前記物点探索手段が、前記直線又は曲線に沿った複数の点に対して実行されることを特徴とする請求項 4 に記載の自動測量システム。

【請求項 6】 前記入力手段により、前記概観画像上の任意の閉曲線を指定することが可能であり、前記物点探索手段が、前記閉曲線内の複数の点に対して実行されることを特徴とする請求項 4 に記載の自動測量システム。

【請求項 7】 測点の測量情報が基準とする座標系と測点を含む測量現場の概観画像との間の位置関係を算出する位置関係算出手段と、

前記位置関係から、前記測点の測量情報と前記測点に対応する前記概観画像上の位置に関する位置情報とを対応付ける対応付け手段と、

前記概観画像上の測点の位置を指定するための入力手段と、

前記入力手段により指定される前記概観画像上の測点の位置に基づいて測量手段の視準方向を制御する視準方向制御手段と

を備えることを特徴とする自動測量システム。

【請求項 8】 前記概観画像が前記測量手段の視準原点と光学的に等価な位置に撮像光学系の投影中心を配置して撮影され、前記視準方向制御手段が、前記入力手段によって前記概観画像上で位置指定される視準点の 2 次元位置情報と、前記概観画像を撮影した撮像装置の外部標定要素に基づいて、前記座標系での視準点の角度情報を求め、この角度情報に対応する方向に前記測量手段を視準することを特徴とする請求項 7 に記載の自動測量システム。

【請求項 9】 前記測点の測量情報が測設点を含む所与の地理データの場合に、前記測点の 3 次元位置情報に基づいて前記概観画像上に測点を表示し、前記測点の中の前記入力手段により指定された測点を前記視準点として、前記測量手段の視準を制御することを特徴とする請求項 8 に記載の自動測量システム。

【請求項 10】 視準後の前記概観画像上の測点の表示を変更することを特徴とする請求項 9 に記載の自動測量システム。

【請求項 11】 前記視準点を前記概観画像上に表示することを特徴とする請求項 7 に記載の自動測量システム。

【請求項 12】 前記測量手段が前記視準点に視準後、前記概観画像上の前

記視準点の表示を変更することを特徴とする請求項 1 1 に記載の自動測量システム。

【発明の詳細な説明】

【0 0 0 1】

【発明の属する技術分野】

本発明は、測量機を用いた測量システムに関する。

【0 0 0 2】

【従来の技術】

通常測量は、測量を行なおうとする測点においてプリズム等の反射ターゲットを保持する作業者と、測量機を操作する作業者の二人一組で行なわれる。このような測量作業では、ターゲットを保持する作業者は、測点毎に場所を移動しなければならない、測量機を操作する作業者はその都度、ターゲットに視準する作業を行わなければならない。したがって、測量作業は極めて煩雑であり、人員、時間を要するために経費も高つく。最近では、プリズム等の反射ターゲットを必要としないノンプリズム式の測量機もある。ノンプリズム式の測量機では、ターゲットを保持する作業者は必要がなく、測量機を操作する作業者のみで測量を行なうことができるので作業は効率化される。しかし、ノンプリズム式の測量機であっても、作業者は各測点毎に測量機の視準作業を行わなければならない。特に土砂を埋める窪地の容積を見積もる場合等、測設点の数が多い場合には、作業は長時間に渡ることとなり作業者への負担は大きくなる。

【0 0 0 3】

【発明が解決しようとする課題】

本発明は、測量における作業効率を向上させることを目的としている。更に詳しくは、本発明は測量機で得られる測量情報とカメラで得られる画像情報とを簡便かつ効率的に関連付け、画像情報に基づき測量機の視準のコントロール、さらには自動測量を行うことを目的としている。

【0 0 0 4】

【課題を解決するための手段】

本発明の自動測量システムは、測量を行うための測量手段と、測量手段に対す

る位置関係が知られた測量現場の概観画像の中で任意に指定される点に対する共線条件を規定する直線を共線として求める共線算出手段と、測量手段の視準方向を共線に沿って移動するように測量手段を制御する視準方向制御手段と、視準方向制御手段の駆動中に、測量手段を用いて視準方向の測量を行い、測量される物点の位置が共線上の点となる位置を探索する物点探索手段とを備え、物点探索手段により求められた位置が概観画像上において指定された点に対応する物点であることを特徴としている。

【 0 0 0 5 】

自動測量システムは好ましくは、測量手段と概観画像との間の位置関係を算出する位置関係算出手段を備え、この位置関係は 3 以上の任意に設定された基準点の測量情報と、基準点の概観画像上の位置との関係から算出される。これにより、測量手段と概観画像との位置関係が簡便に得られるので、自動測量を常に簡便に行うことができる。また、より簡便に位置関係を求めるには、自動測量システムは、概観画像上の位置を指定するための入力手段を備えることが好ましく、基準点の位置はこの入力手段により概観画像上の任意の位置を指定することにより決定される。

【 0 0 0 6 】

また、物点探索手段で探索の対象となる概観画像上の任意の点は、この入力手段により指定できることが好ましい。このとき入力手段により、概観画像上の任意の直線又は曲線を指定することが可能であり、物点探索手段は、これらの直線又は曲線に沿った複数の点に対して実行される。あるいは、入力手段により、概観画像上の任意の閉曲線が指定され、物点探索手段は、閉曲線内の複数の点に対して実行される。これにより、作業者は、曲線（直線）や領域を指定するだけで、これらの曲線、領域に係る大量の測量情報を自動的に得ることができ、測量作業は大幅に効率化される。

【 0 0 0 7 】

また、自動測量システムは、測点の測量情報が基準とする座標系と測点を含む測量現場の概観画像との間の位置関係を算出する位置関係算出手段と、位置関係から、測点の測量情報と測点に対応する概観画像上の位置に関する位置情報とを

対応付ける対応付け手段と、概観画像上の測点の位置を指定するための入力手段と、入力手段により指定される概観画像上の測点の位置に基づいて測量手段の視準方向を制御する視準方向制御手段とを備えたことを特徴としている。

【0008】

概観画像は、例えば測量手段の視準原点（たとえばTS、ETHの機械中心）と光学的に等価な位置に撮像光学系の投影中心を配置して撮影され、視準方向制御手段は、入力手段によって概観画像上で位置指定される視準点の2次元位置情報と、概観画像を撮影した撮像装置の外部標定要素とに基づいて、上記座標系での視準点の角度情報を求め、この角度情報に対応する方向に測量手段を視準する。この場合、概観画像上の視準点の画像座標から直接水平角と高度角を算出でき、処理はより簡便なものとなる。

【0009】

測点の測量情報が既知の場合には、例えば測点の3次元位置情報に基づいて概観画像上に測点を表示し、これらの測点の中の入力手段により指定された測点を視準点として測量手段の視準を制御する。これにより、測設作業のために予め測量情報が与えられている測設点に視準する場合や、既に測量された測点に再び視準する場合等にも、簡単に目的とする測点に測量手段を視準させることができる。

【0010】

また、自動測量システムは、視準点を概観画像上に表示することが好ましく、測量手段が視準点に視準後、概観画像上の視準点の表示を変更することが好ましい。また同様に視準後の概観画像上の測点の表示を変更することが好ましい。これにより作業者は、測量手段が目的とする測点に視準されたことを視覚的に容易に認識することが可能となる。

【0011】

【発明の実施の形態】

以下、本発明の実施の形態を図面を参照して説明する。

図1は、本発明の一実施形態である測量機とカメラを用いた測量システムの概略を示すブロック図である。

【 0 0 1 2 】

測量機 1 0 は、例えばトータルステーション等であり、測点に視準するための視準望遠鏡 1 7 を備える。視準望遠鏡 1 7 は、高度角 θp を測定するために視準望遠鏡を俯仰させる水平軸 Lh と、水平角 θh を測定するために視準望遠鏡を水平方向に回転させる鉛直軸 Lp とを有し、これらの軸の周りに回動可能である。水平軸 Lh と鉛直軸 Lp とは点 O_S （以下視準原点 O_S と呼ぶ）において直交し、視準望遠鏡 1 7 の光軸（視準線）は視準原点 O_S を通る。光軸 LN_0 は、ハーフミラー 1 8 において 2 分され、一方は接眼レンズに導かれ他方は測距部 1 1 に導かれる。

【 0 0 1 3 】

測距部 1 1 では視準された測点までの斜距離等を例えば光波測距等により検出し、測角・角度制御部 1 2 はこのときの水平角 θh 、高度角 θp 等を検出する。また、視準望遠鏡 1 7 は、水平軸 Lh 、鉛直軸 Lp 周りに図示しないステッピングモータ等により回動することができ、これらの回動動作は、測角・角度制御部 1 2 により制御される。

【 0 0 1 4 】

測距部 1 1 及び測角・角度制御部 1 2 はそれぞれシステムコントロール回路 1 3 に接続されており、システムコントロール回路 1 3 からの指令に基づき制御される。例えば測距部 1 1 はシステムコントロール回路 1 3 の指令に基づいて測距を行い、測定値をシステムコントロール回路 1 3 に送出する。一方、測角・角度制御部 1 2 は常時角度を測定しておりシステムコントロール回路 1 3 からの要求に応じて測定値をシステムコントロール回路 1 3 へ送出するとともに、ステッピングモータを駆動して水平軸 Lh 、鉛直軸 Lp 周りの回動動作を制御する。検出された斜距離、水平角、高度角等の測定値はシステムコントロール回路 1 3 において処理される。システムコントロール回路 1 3 には、この他にも、スイッチ群 1 4、表示器 1 5（例えば LCD）、インターフェース回路 1 6 等が接続されている。

【 0 0 1 5 】

インターフェース回路 1 6 には、インターフェースケーブルを介して例えばノ

ート型パーソナルコンピュータ等のコンピュータ40が接続される。すなわち、測量機10はインターフェースケーブルを介してコンピュータ40等に測量データ等を送信可能である。また、測量機10は、コンピュータ40からの制御信号に基づいて制御することも可能であり、例えば視準望遠鏡17の視準方向（水平角 θ_h 、高度角 θ_p ）をコンピュータ40から制御することができる。なお、インターフェース回路16は、データコレクタ（図示せず）等の周辺機器にも接続可能である。

【0016】

コンピュータ40は、CPU41を中心にハードディスク、DVD、MO、I Cカード等の記録媒体42、マウス43やキーボード44等の入力装置や、LCD、CRT等の画像表示装置（モニタ）45、及びインターフェース回路46から概ねなる。インターフェース46は上述したように、インターフェースケーブルを介して測量機10のインターフェース回路16に接続される。また、インターフェース回路46は、例えばデジタルスチルカメラ20に接続可能である。すなわち、デジタルスチルカメラ20で撮影された画像は、デジタル画像データとしてコンピュータ40に伝送され、例えばインターフェース回路46を介して記録媒体42に記録される。

【0017】

次に図1、図2、図3を参照して本実施形態の測量システムにおける単写真標定処理について説明する。図2は、本実施形態の測量システムにおける単写真標定処理のフローチャートであり、図3はデジタルスチルカメラで測量現場の概観画像を撮影したときの測量機とカメラの配置を概念的に示す図である。

【0018】

まずステップS101において、オペレータはデジタルスチルカメラ（DSC）20により測量現場の概観を撮影し、撮影されたデジタル画像をコンピュータ40にインターフェースケーブル等を介して伝送し、記録媒体42に記録する。なお、撮影されたデジタル画像（概観画像）には、測量されるべき測点が複数含まれる。

【0019】

ステップ S 1 0 2 では、撮影された概観画像が例えばコンピュータ 4 0 のモニタ 4 5 に表示される。このとき、表示された概観画像において複数の点（画素）がオペレータによりマウス 4 3 等のポインティングデバイスを用いて選択される。これにより選択された画素に対応する実空間内の物点が基準点 P_i ($i = 1, 2, \dots, n$)（基準点は概観画像と測量情報との位置関係計算に使用した測点の事）として指定される。また、このとき指定された各基準点 P_i に対応する撮像面上の像点 P_i' の位置が、それぞれ 2 次元の画像座標 ($x_{P_i'}, y_{P_i'}$) として求められる。なお画像座標系は、画像左上を原点とした y' 軸下向きが正の 2 次元座標系である。また、基準点の数 n は 3 次的に配置された例えば 1 1 以上の数である。

【 0 0 2 0 】

ステップ S 1 0 3 では、ステップ S 1 0 2 において指定された各基準点 P_i の斜距離及び（高度、水平）角度が測量機 1 0 を用いてオペレータにより測定され、測定値はインターフェース回路 1 6 を介してコンピュータ 4 0 のインターフェース回路 4 6 へ伝送される。CPU 4 1 では、各基準点 P_i の 3 次元座標 ($X_{P_i}, Y_{P_i}, Z_{P_i}$) が所定の測量座標系において算出される。このとき各基準点 P_i の測量座標 ($X_{P_i}, Y_{P_i}, Z_{P_i}$) は、それぞれ像点 P_i' の画像座標 ($x_{P_i'}, y_{P_i'}$) に対応付けられる。なお、本実施形態において、測量座標系は、例えば測量機 1 0 の視準原点 O_S を原点として取られるが、国土地理院等で規定している絶対座標や、測量現場で任意に定められる座標系を用いてもよい。また、測量機 1 0 が測量座標計算を行い、その値をコンピュータ 4 0 へ伝送するように構成してもよい。

【 0 0 2 1 】

ステップ S 1 0 4 では後述するように、各基準点 P_i に対する測量座標と画像座標との対応から概観画像を撮影したときのデジタルスチルカメラ 2 0 の位置および傾き等を表わす外部標定要素と、レンズディストーションや主点の画像中心からの偏心による共線条件のズレを補正するための内部定位要素が、例えば空間後方交会法により算出される。すなわち、デジタルスチルカメラ 2 0 に固定された 3 次元カメラ座標系の原点 O_C の測量座標系における位置 (X_0, Y_0, Z_0) と

、撮影時のカメラ座標系の x 軸、 y 軸、 z 軸回りの回転角 (ω , ϕ , κ) が外部標定要素として求められるとともに、カメラの内部定位要素 (f : レンズ投影中心から像面までの距離 (画像距離) ; D_2 , D_4 , D_6 : ディストーション 2 次、4 次、6 次成分 ; P_1 , P_2 : ディストーションの非対称成分 ; X_C , Y_C : 主点の画像中心からの偏心量) が求められる。これにより、画像座標と測量座標との射影関係が確立される。なお、内部定位要素を上記 (f , D_2 , D_4 , D_6 , P_1 , P_2 , X_C , Y_C) に設定した場合、外部標定要素及び内部定位要素を算出するのに必要な基準点の数は 7 点以上である。このうち、外部標定要素 (X_0 , Y_0 , Z_0 , ω , ϕ , κ) を算出するのに必要な基準点の数は 3 点以上である。なお、本実施形態では、外部標定及び内部標定を行なうための基準点として 11 点 (以上) 指定している。

【 0 0 2 2 】

なお、カメラ座標系は、レンズ中心 (投影中心) を原点 O_C とした右手座標系であり、その x 軸、 y 軸はスクリーン座標系の s' 軸、 t' 軸と平行であり、 z 軸は撮像面と垂直で、像面方向に向けて定義される。すなわち、撮像面上の点は (x , y , f) で表される。ここでスクリーン座標系は、主点を原点とした撮像面上の 2 次元座標系であり、 s' 軸は撮像素子 21 の水平ライン方向に、 t' 軸は垂直ライン方向に対応する (図 4 参照)。

【 0 0 2 3 】

以上、ステップ S 1 0 1 ~ ステップ S 1 0 4 の処理により本実施形態の単写真標定処理は終了する。なお、ステップ S 1 0 1 での測量現場の撮影をせずに、以前撮影された概観画像を代わりに使用してもよい。また、本実施形態では、単写真標定処理を図 2 のフローチャートを参照して説明したが、ステップ S 1 0 3 の基準点の測量を先に行い、その後でステップ S 1 0 1、S 1 0 2 を行ってもよい。また、基準点の測量情報として以前測量されたデータや所与の地理データ (国土地理院の三角点、市販の地図の地理データを含む) を使用してもよい。

【 0 0 2 4 】

次に図 4、図 5 を参照して本実施形態におけるデジタルスチルカメラ 20 の空間後方交会法による外部標定要素及び内部定位要素の算出方法 (ステップ S 1 0

4) の原理について説明する。

【0025】

図4は、3つの基準点 P_1 、 P_2 、 P_3 とこれらの撮像面 S における像点 P_1' 、 P_2' 、 P_3' との関係を模式的に示している。図5は図2のステップS104におけるデジタルスチルカメラ20の位置および傾きを表す外部標定要素(X_0 , Y_0 , Z_0 , ω , ϕ , κ)及びカメラの内部定位要素(f , D_2 , D_4 , D_6 , N_1 , N_2 , X_C , Y_C)を算出する空間後方交会法のプログラムのフローチャートであり、その算出には最小二乗法を用いた逐次近似法が用いられる。なお、本実施形態では、上述したように基準点の数は7点以上であればいくつあってもよいが、ここでは、基準点が11点指定された場合を例に説明を行なう。また、図4にはその内の3点 P_1 、 P_2 、 P_3 のみが示される。

【0026】

まず、ステップS201においてカメラの位置および傾きを表す外部標定要素(X_0 , Y_0 , Z_0 , ω , ϕ , κ)及び内部定位要素(f , D_2 , D_4 , D_6 , N_1 , N_2 , X_C , Y_C)に近似値として適当な初期値(X_{G0} , Y_{G0} , Z_{G0} , ω_G , ϕ_G , κ_G)及び(f_G , D_{2G} , D_{4G} , D_{6G} , N_{1G} , N_{2G} , X_{CG} , Y_{CG})を与える。次にステップS202では、与えられた外部標定要素(X_{G0} , Y_{G0} , Z_{G0} , ω_G , ϕ_G , κ_G)及び内部定位要素(f_G , D_{2G} , D_{4G} , D_{6G} , N_{1G} , N_{2G} , X_{CG} , Y_{CG})を用いて11個の基準点 P_i ($i = 1, 2, \dots, 11$)の測量座標(X_{Pi} , Y_{Pi} , Z_{Pi})から各基準点 P_i に対応する像点 P_i' の近似的な画像座標(x_{PGi} , y_{PGi})を算出する。

【0027】

すなわち、基準点 P_i ($i = 1, 2, \dots, 11$)のカメラ座標系における座標(x_{Pi} , y_{Pi} , z_{Pi})は、測量座標系における座標(X_{Pi} , Y_{Pi} , Z_{Pi})から次の(1)式により求まるので、近似的な外部標定要素(X_{G0} , Y_{G0} , Z_{G0} , ω_G , ϕ_G , κ_G)、及び基準点 P_i の測量座標(X_{Pi} , Y_{Pi} , Z_{Pi})を(1)式に代入することにより、基準点 P_i の近似的なカメラ座標(x_{PGi} , y_{PGi} , z_{PGi})を求めることができる。

【数 1】

$$\begin{pmatrix} xp_i \\ yp_i \\ zp_i \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} T_{11} & T_{12} & T_{13} \\ T_{21} & T_{22} & T_{23} \\ T_{31} & T_{32} & T_{33} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} Xp_i - X_0 \\ Yp_i - Y_0 \\ Zp_i - Z_0 \end{pmatrix} \quad (1)$$

ここで行列 $\{T_{jk}\}$ は回転行列であり、各成分 T_{jk} は例えば次式で表される。

$$T_{11} = \cos \phi \cdot \cos \kappa$$

$$T_{12} = \cos \omega \cdot \sin \kappa + \sin \omega \cdot \sin \phi \cdot \cos \kappa$$

$$T_{13} = \sin \omega \cdot \sin \kappa - \cos \omega \cdot \sin \phi \cdot \cos \kappa$$

$$T_{21} = -\cos \phi \cdot \sin \kappa$$

$$T_{22} = \cos \omega \cdot \cos \kappa - \sin \omega \cdot \sin \phi \cdot \sin \kappa$$

$$T_{23} = \sin \omega \cdot \cos \kappa + \cos \omega \cdot \sin \phi \cdot \sin \kappa$$

$$T_{31} = \sin \phi$$

$$T_{32} = -\sin \omega \cdot \cos \phi$$

$$T_{33} = \cos \omega \cdot \cos \phi$$

【0028】

また基準点 P_i に対応する像点 P_i' の内部定位要素による補正前のスクリーン座標 (sp_i', tp_i') は、撮影された基準点、投影中心、およびその像点が同一直線上にあるという共線条件から外部標定要素 $(X_0, Y_0, Z_0, \omega, \phi, \kappa)$ 、及び基準点 P_i のカメラ座標 (xp_i, yp_i, zp_i) を用いて次の (2) 式により求められる。

【数 2】

$$sp_i' = f \frac{xp_i}{zp_i} = f \frac{T_{11}(Xp_i - X_0) + T_{12}(Yp_i - Y_0) + T_{13}(Zp_i - Z_0)}{T_{31}(Xp_i - X_0) + T_{32}(Yp_i - Y_0) + T_{33}(Zp_i - Z_0)}$$

$$tp_i' = f \frac{yp_i}{zp_i} = f \frac{T_{21}(Xp_i - X_0) + T_{22}(Yp_i - Y_0) + T_{23}(Zp_i - Z_0)}{T_{31}(Xp_i - X_0) + T_{32}(Yp_i - Y_0) + T_{33}(Zp_i - Z_0)} \quad (2)$$

【0029】

補正前のスクリーン座標 (sp_i', tp_i') は、ディストーション等の影響

を受けているが、これらは、(3)式に、各々の像点の P_i' のスクリーン座標 $(s_{p_i'}, t_{p_i'})$ 及び近似的な内部定位要素 $(f_G, D_{2G}, D_{4G}, D_{6G}, N_{1G}, N_{2G}, X_{CG}, Y_{CG})$ を代入することにより補正される。すなわち、(3)式により補正後の近似的なスクリーン座標 $(s_{cp_i'}, t_{cp_i'})$ が算出される。

【数 3】

$$\begin{aligned} R^2 &= sp_i'^2 + tp_i'^2 \\ scp_i' &= sp_i'(1 + D_2 R^2 + D_4 R^4 + D_6 R^6) + (R^2 + 2sp_i'^2)N_1 + 2sp_i' tp_i' N_2 + X_C \quad (3) \\ tcp_i' &= tp_i'(1 + D_2 R^2 + D_4 R^4 + D_6 R^6) + 2sp_i' tp_i' N_1 + (R^2 + 2tp_i'^2)N_2 + Y_C \end{aligned}$$

【0 0 3 0】

像点 P_i' の近似的な画像座標 $(x_{p_{Gi'}}, y_{p_{Gi'}})$ は補正された近似的なスクリーン座標 $(s_{cp_{Gi'}}, t_{cp_{Gi'}})$ を次の(4)式に代入することにより求められる。

【数 4】

$$\begin{aligned} xp_i' &= scp_i' / (-P_x) + W/2 \\ yp_i' &= tcp_i' / P_y + H/2 \end{aligned} \quad (4)$$

ここで、 P_x 、 P_y はそれぞれCCDの水平、垂直方向の画素ピッチであり、 W 、 H はそれぞれ画像の水平、垂直方向のピクセル数である。

【0 0 3 1】

ステップS203では、近似的に与えられた外部標定要素 $(X_{G0}, Y_{G0}, Z_{G0}, \omega_G, \phi_G, \kappa_G)$ 及び内部定位要素 $(f_G, D_{2G}, D_{4G}, D_{6G}, N_{1G}, N_{2G}, X_{CG}, Y_{CG})$ の値が適切か否かを判定するためのメリット関数 Φ が計算される。メリット関数 Φ は例えば(5)式で定義される。

【数 5】

$$\Phi = \sum_{i=1}^n \{ (xp_i' - xp_{Gi'})^2 + (yp_i' - yp_{Gi'})^2 \} \quad (5)$$

すなわち、本実施形態においてメリット関数 Φ は概観画像上で指定された基準点 P_i の像点 P_i' の画像座標 $(x_{p_i'}, y_{p_i'})$ と、測量により求められた基

準点 P_i の測量座標 $(X_{P_i}, Y_{P_i}, Z_{P_i})$ および近似的に与えられた外部標定要素 $(X_{G0}, Y_{G0}, Z_{G0}, \omega_G, \phi_G, \kappa_G)$ 及び内部定位要素 $(f_G, D_{2G}, D_{4G}, D_{6G}, N_{1G}, N_{2G}, X_{CG}, Y_{CG})$ から求められた像点 P_i' の近似的な画像座標 $(x_{P_{Gi}'}, y_{P_{Gi}'})$ との間の距離の 2 乗に対応している。

【 0 0 3 2 】

次にステップ S 2 0 4 において、メリット関数 Φ が所定値よりも小さいか否かが判定される。すなわち、近似的に与えられた外部標定要素 $(X_{G0}, Y_{G0}, Z_{G0}, \omega_G, \phi_G, \kappa_G)$ 及び内部定位要素 $(f_G, D_{2G}, D_{4G}, D_{6G}, N_{1G}, N_{2G}, X_{CG}, Y_{CG})$ による像点 P_i' の近似的な画像座標 $(x_{P_{Gi}'}, y_{P_{Gi}'})$ が、概観画像上で指定された基準点 P_i の像点 P_i' の画像座標 $(x_{P_i'}, y_{P_i'})$ に十分近いかが判定される。 $\Phi <$ 所定値の場合にはこの処理は終了し、現在与えられている外部標定要素 $(X_{G0}, Y_{G0}, Z_{G0}, \omega_G, \phi_G, \kappa_G)$ 及び内部定位要素 $(f_G, D_{2G}, D_{4G}, D_{6G}, N_{1G}, N_{2G}, X_{CG}, Y_{CG})$ の値を、概観画像撮影時のカメラの位置、傾きを表す外部標定要素及び内部定位要素であるとする。

【 0 0 3 3 】

一方、ステップ S 2 0 4 において $\Phi \geq$ 所定値であると判定された場合には、ステップ S 2 0 5 において近似的に与えられた外部標定要素 $(X_{G0}, Y_{G0}, Z_{G0}, \omega_G, \phi_G, \kappa_G)$ 及び内部定位要素 $(f_G, D_{2G}, D_{4G}, D_{6G}, N_{1G}, N_{2G}, X_{CG}, Y_{CG})$ に対する補正量 $(\delta X, \delta Y, \delta Z, \delta \omega, \delta \phi, \delta \kappa, \delta f, \delta D_2, \delta D_4, \delta D_6, \delta N_1, \delta N_2, \delta X_C, \delta Y_C)$ が例えば最小二乗法により求められる。すなわち、共線条件である (2) 式の $(s_{P_i'}, t_{P_i'})$ に (3) 式の $(s_{cP_i'}, t_{cP_i'})$ を代入し、近似値である外部標定要素 $(X_{G0}, Y_{G0}, Z_{G0}, \omega_G, \phi_G, \kappa_G)$ 及び内部定位要素 $(f_G, D_{2G}, D_{4G}, D_{6G}, N_{1G}, N_{2G}, X_{CG}, Y_{CG})$ の周りにテイラー展開し高次の項を省いて線形化する。この線形化された式において補正量 $(\delta X, \delta Y, \delta Z, \delta \omega, \delta \phi, \delta \kappa, \delta f, \delta D_2, \delta D_4, \delta D_6, \delta N_1, \delta N_2, \delta X_C, \delta Y_C)$ を未知量とする正規方程式を作成し、適正な補正量 $(\delta X, \delta Y, \delta Z, \delta \omega, \delta \phi, \delta \kappa, \delta f, \delta D_2, \delta D_4, \delta D_6, \delta N_1, \delta N_2, \delta X_C, \delta Y_C)$ を求める。

【 0 0 3 4 】

ステップ S 2 0 6 では、ステップ S 2 0 5 において算出された補正量 (δX , δY , δZ , $\delta \omega$, $\delta \phi$, $\delta \kappa$, δf , δD_2 , δD_4 , δD_6 , δN_1 , δN_2 , δX_C , δY_C) に基づいて近似値である外部標定要素 (X_{G0} , Y_{G0} , Z_{G0} , ω_G , ϕ_G , κ_G) 及び内部定位要素 (f_G , D_{2G} , D_{4G} , D_{6G} , N_{1G} , N_{2G} , X_{CG} , Y_{CG}) の値が更新される。すなわち、(X_{G0} , Y_{G0} , Z_{G0} , ω_G , ϕ_G , κ_G , f_G , D_{2G} , D_{4G} , D_{6G} , N_{1G} , N_{2G} , X_{CG} , Y_{CG}) の各値は、それぞれ ($X_{G0} + \delta X$, $Y_{G0} + \delta Y$, $Z_{G0} + \delta Z$, $\omega_G + \delta \omega$, $\phi_G + \delta \phi$, $\kappa_G + \delta \kappa$, $f_G + \delta f$, $D_{2G} + \delta D_2$, $D_{4G} + \delta D_4$, $D_{6G} + \delta D_6$, $N_{1G} + \delta N_1$, $N_{2G} + \delta N_2$, $X_{CG} + \delta X_C$, $Y_{CG} + \delta Y_C$) に置き換えられカメラの位置及び内部定位が更新される。その後処理はステップ S 2 0 2 へ戻り、ステップ S 2 0 4 において $\Phi < \text{所定値}$ と判定されるまでステップ S 2 0 2 ～ステップ S 2 0 6 が繰り返し実行される。

【 0 0 3 5 】

次に図 1、図 6、図 7 を参照して、本実施形態の測量システムにおける自動測量処理動作の概要について説明する。

【 0 0 3 6 】

図 6 は、モニタ 4 5 に表示された測量現場の概観画像である。作業者は、例えばマウス 4 3 でマウスカーソルを操作して概観画像上の測量したい領域（測量領域）A を確定する。コンピュータ 4 0 は、図 7 のように、測量領域 A 内の任意の画素（物点 Q_6 に対応する像点 Q_6' ）に対する共線条件を表わす直線（以下共線と呼ぶ） LN_C を求める。測量機 1 0 は、コンピュータ 4 0 からの信号に基づいて、共線 LN_C 上を走査しながら（視準線 LN_0 を共線 LN_C と交差させながら移動）所定の間隔で測定を行い（例えば点 $R_1 \sim$ 点 R_5 ）、各点 R_j ($j = 1, 2, \dots, 6$) に測量機 1 0 を向けたときに得られる測量座標値を参照して物点 Q_6 を探索する。これは例えば測量領域 A 内の全ての画素に対して行なわれる。また、測量領域 A を任意間隔（例えば等分割）の格子状に自動分割し、格子点毎に上記探索を行なってもよい。また曲線 B を指定し、その曲線（又は直線）上を任意間隔（例えば等間隔）に自動分割してもよい。測量領域 A、曲線 B とともに測定者が指定することにより行う。また任意間隔を測量機の角度値で等間隔としてもよい。又、上記測量領域 A・曲線 B は、概観画像を画像処理し、任意の指定色範囲・輝

度範囲等を検出して作成してもよいし、エッジ検出等により作成してもよい。

【 0 0 3 7 】

例えば共線 LN_C 上の点 R_2 に測量機 10 が向けられた場合、測量機 10 により測定されるのは、測量領域外の物点 Q_2 の位置である。したがって、単写真標定処理により求められた外部標定要素 ($X_0, Y_0, Z_0, \omega, \phi, \kappa$)、内部定位要素 ($f, D_2, D_4, D_6, N_1, N_2, X_C, Y_C$) 及び測定された物点 Q_2 の測量座標 (X_{q2}, Y_{q2}, Z_{q2}) とを (1) 式～(4) 式に代入することにより物点 Q_2 に対応する概観画像上の画像座標 (x_{q2}', y_{q2}') が求められる。物点 Q_2 は指定された像点 Q_6' に対応する物点 Q_6 とは異なるので、測定された物点 Q_2 に対応する画像座標 (x_{q2}', y_{q2}') は、像点 Q_6' の画像座標 (x_{q6}', y_{q6}') と異なる。

【 0 0 3 8 】

一方、共線 LN_C 上の点 R_6 は、共線 LN_C が測量領域内の物体と交わる点であり物点 Q_6 と一致する。すなわち、点 R_6 に測量機が向けられたときに測定される測量座標値から算出される画像座標は指定された像点 Q_6' の画像座標 (x_{q6}', y_{q6}') に等しい。したがって、任意に指定された画素 (本実施形態では測量領域内 A) に対する共線に沿って測量を行い、このときの測量座標から求められる画像座標と指定された画素の画像座標とが略一致する物点を探索することにより、概観画像の任意の画素に対応する物点の測量を自動的に行なうことができる。

【 0 0 3 9 】

以下図 8～図 11 を参照して、本実施形態の自動測量処理動作の詳細について説明する。

【 0 0 4 0 】

図 8 は自動測量処理動作全体のプログラムのフローチャートであり、CPU 41 において実行される。図 8 の自動測量処理動作は、概観画像に対する単写真標定処理が終了した後に行われ、概観画像を撮影したときのデジタルスチルカメラ 20 の外部標定要素及び内部定位要素は予め求められている。ステップ S301 では、モニタ 45 の概観画像上において、作業者がマウス 43 を用いて確定した

測量領域Aが取得されるとともに、測量領域A内の全ての画素に対して画素番号（1～N；N：測量領域A内の総画素数）が割り付けられる。

【0041】

ステップS302では、画素番号iに1がセットされ、ステップS303～ステップS306の処理が $i=N$ となるまで繰り返される。すなわち、ステップS303では、画素番号iに対応する画像座標 (x_i', y_i') の共線に沿って測量機10による測量が自動的に行われ、測定された測量座標に対応する画像座標を画素番号iの画像座標 (x_i', y_i') と比較することにより、画素番号iの画素に対応する物点の位置が探索・測量される（物点探索処理）。なお、物点探索処理の詳細については後述する。

【0042】

ステップS304では、ステップS303の物点探索処理により求められた画素 (x_i', y_i') に対する測量データが記録媒体42等に記録される。ステップS305では、画素番号iが画素総数Nよりも大きいか否かが判定される。すなわち、測量領域A内の全ての画素に対して物点探索処理が終了したか否かが判定される。 $i > N$ でないと判定されるとステップS306においてiが1インクリメントされ、処理は再びステップS303へ移る。一方、 $i > N$ であると判定されると、この自動測量処理動作は終了する。

【0043】

図9は、ステップS303の物点探索処理の詳細を示すフローチャートである。ステップS401では、画像座標 (x_i', y_i') に対応する共線 LN_C 上の単位共線ベクトル (r_{ix}, r_{iy}, r_{iz}) が算出される（単位共線ベクトル算出処理）。物点探索処理では、所定の間隔毎に配置される共線 LN_C 上の仮想的な視準点 R_j に測量機10を視準して測量が行われる。ステップS402では、この共線 LN_C 上の仮想的な視準点 R_j に対するカメラ座標原点 $O_C(X_0, Y_0, Z_0)$ からの距離Lが初期距離 L_a に設定される。

【0044】

ステップS403では、ステップS401で算出された単位共線ベクトル (r_{ix}, r_{iy}, r_{iz}) と距離Lとから仮想視準点 R_j の測量座標 (X_{Rj}, Y_{Rj}, Z_{Rj})

) が、

$$\begin{aligned} X_{Rj} &= X_0 + r_{ix} \cdot L \\ Y_{Rj} &= Y_0 + r_{iy} \cdot L \\ Z_{Rj} &= Z_0 + r_{iz} \cdot L \end{aligned} \quad (6)$$

により算出されるとともに、仮想視準点 R_j に視準望遠鏡 17 を視準するための水平角 θh 及び高度角 θp が次の (7) 式、(8) 式により求められる。

【数 6】

$$\theta h = \begin{cases} \sin^{-1} \left(\frac{\frac{X_{Ri}}{\sqrt{X_{Ri}^2 + Y_{Ri}^2 + Z_{Ri}^2}}}{\cos(\sin^{-1} \frac{Y_{Ri}}{\sqrt{X_{Ri}^2 + Y_{Ri}^2 + Z_{Ri}^2}})} \right) & (Z_{Ri} \geq 0) \\ \pi - \sin^{-1} \left(\frac{\frac{X_{Ri}}{\sqrt{X_{Ri}^2 + Y_{Ri}^2 + Z_{Ri}^2}}}{\cos(\sin^{-1} \frac{Y_{Ri}}{\sqrt{X_{Ri}^2 + Y_{Ri}^2 + Z_{Ri}^2}})} \right) & (Z_{Ri} < 0) \end{cases} \quad (7)$$

【数 7】

$$\theta p = \sin^{-1} \left(\frac{Y_{Ri}}{\sqrt{X_{Ri}^2 + Y_{Ri}^2 + Z_{Ri}^2}} \right) \quad (8)$$

なお、図 10 に示されるように (7) 式、(8) 式において、測量座標系の原点は視準原点 O_s にあり、 $\theta p = \theta h = 0$ の場合、X 軸は水平軸 Lh に、Y 軸は垂直軸 Lp に、Z 軸は視準線（光軸） LN_0 に一致する。また、このとき測量機 10 は、コンピュータ 40 からの信号指令に基づいて視準望遠鏡 17 の視準線（光軸） LN_0 を $(\theta h, \theta p)$ の方向に向ける。

【0045】

ステップ S404 では、ステップ S403 において視準された方向に対して測量が行われる。この測量で実際に測量された仮想視準点 R_i に対応する物点 Q_i の

測量データに基づいて物点 Q_i の測量座標 (X_{Qi}, Y_{Qi}, Z_{Qi}) が算出される。
 ステップS405では、物点 Q_i の測量座標 (X_{Qi}, Y_{Qi}, Z_{Qi}) に対応する画像座標 (x_{Qi}', y_{Qi}') が外部標定要素 $(X_0, Y_0, Z_0, \omega, \phi, \kappa)$ 、及び内部定位要素 $(f, D_2, D_4, D_6, N_1, N_2, X_C, Y_C)$ を用いて算出される。

【0046】

ステップS406では、物点 Q_i に対応する画像座標 (x_{Qi}', y_{Qi}') が共線 LN_C の画像座標 (x_i', y_i') と一致するかが判定される。例えば画像座標 (x_{Qi}', y_{Qi}') と画像座標 (x_i', y_i') の間の距離が所定値内であるとき、物点 Q_i に対応する画像座標 (x_{Qi}', y_{Qi}') は共線 LN_C の画像座標 (x_i', y_i') と一致すると判定される。このとき、ステップS407において、算出された物点 Q_i の測量座標 (X_{Qi}, Y_{Qi}, Z_{Qi}) が画素番号 i の画素 (x_i', y_i') に対応する測量座標として設定され、この物点探索処理は終了する。一方、一致しないと判定された場合は、ステップS408において、距離 L が $L + \Delta L$ に更新され、ステップS403以下の処理が繰り返される。なお、 ΔL は距離 L の増分量であり、測定精度や、測定時間とのかねあいから決定される。

【0047】

次に図11を参照して、ステップS401において実行される単位共線ベクトル算出処理について説明する。図10は、単位共線ベクトル算出処理のフローチャートである。

【0048】

本実施形態では、単位共線ベクトルは、最小二乗法を用いて算出される。すなわち、本実施形態の単位共線ベクトル算出処理では、任意の単位ベクトル $(r_{Gix}, r_{Giy}, r_{Giz})$ を画素 (x_i', y_i') に対する近似的な単位共線ベクトルとし、ステップS501においてカメラ座標原点 $O_C(X_0, Y_0, Z_0)$ を始点とする単位ベクトル $(r_{Gix}, r_{Giy}, r_{Giz})$ の終点が示す測量座標 $(X_0 + r_{Gix}, Y_0 + r_{Giy}, Z_0 + r_{Giz})$ に対応する画像座標 (x_{Gi}', y_{Gi}') が外部標定要素 $(X_0, Y_0, Z_0, \omega, \phi, \kappa)$ 及び内部定位要素 $(f, D_2, D_4, D_6, N$

1, N_2 , X_C , Y_C) を用いて (1) 式 ~ (4) 式から算出される。

【0049】

ステップ S 5 0 2 では、ステップ S 5 0 1 で算出された画像座標 (x_{Gi}' , y_{Gi}') に対してメリット関数 $\Phi = (x_i' - x_{Gi}')^2 + (y_i' - y_{Gi}')^2$ が求められる。ステップ S 5 0 3 において、メリット関数 Φ の値が所定値よりも小さいか否かが判定される。メリット関数 Φ の値が所定値よりも小さいと判定された場合には、ステップ S 5 0 4 において単位ベクトル (r_{Gix} , r_{Giy} , r_{Giz}) を画素番号 i の画素に対する単位共線ベクトル (r_{ix} , r_{iy} , r_{iz}) であるとし、この単位共線ベクトル算出処理は終了する。

【0050】

一方、ステップ S 5 0 3 において、メリット関数 Φ が所定値よりも小さくないと判定された場合には、ステップ S 5 0 5 において近似的に与えられた単位ベクトル (r_{Gix} , r_{Giy} , r_{Giz}) に対する補正量 (δr_{ix} , δr_{iy} , δr_{iz}) が例えば最小二乗法により求められる。そして近似的な単位ベクトルは単位ベクトル ($r_{Gix} + \delta r_{ix}$, $r_{Giy} + \delta r_{iy}$, $r_{Giz} + \delta r_{iz}$) に更新される。その後処理はステップ S 5 0 1 へ戻り、ステップ S 5 0 3 において $\Phi < \text{所定値}$ と判定されるまでステップ S 5 0 1 ~ ステップ S 5 0 5 が繰り返し実行される。

【0051】

なお、上記自動測量処理動作により得られた測量領域の測量データから、測量領域の容積等が計算される。また、指定された測量領域の外周のみを自動測量して、測量領域の面積や外周長等を求めることも可能である。

【0052】

以上のように、本実施形態によれば、測量機を用いて概観画像上で指定した測点を視準する事ができ、さらに自動的に測量することができる。また、図示していないが測量機 1 0 内部に CCD を備える測量機では、概観画像からの指示で測量機 1 0 で測点を概略視準し、概観画像より高倍率の測量機 1 0 内の CCD 画像上で指示した点にヘヤー中心がくるように制御し、詳細な視準をする事も可能である。また、本実施形態では、作業者が概観画像上において測量領域を確定すれば、その領域内の測量を測量機が自動的に行うことができるので、測量作業の効

率は大幅に向上される。

【 0 0 5 3 】

なお、概観画像の撮影に望遠等の焦点距離が長いレンズを使用する場合には、内部定位要素の一つであるディストーションは小さく、実質的に無視できる場合がある。すなわち、内部定位要素のうち (D_2 , D_4 , D_6 , N_1 , N_2) は無視することができ、未知の内部定位要素は (f , X_C , Y_C) のみとなる。内部定位要素 (f , X_C , Y_C) を求めるには、3次元的に配置された5点以上の基準点 P_i があれば足りる。また、主点の画像中心からの偏心が無視でき、ディストーションの非対称性成分、ディストーション4次、6次成分が無視できる場合には、求める内部定位要素は (f , D_2) となり、内部標定のための基準点の数は4点で足りる。以上のように求めるべき内部標定要素の数が少ない場合には、内部標定のための基準点の数を少なくすることができるので、測定の手間・時間を節約できる。

【 0 0 5 4 】

また、本実施形態では、測量機 1 0 に対してデジタルスチルカメラ 2 0 が任意に配置される場合を例に説明を行なったが、例えば、測量機 1 0 にカメラを取付けるための器具を設けるなどして、デジタルスチルカメラ 2 0 を測量機 1 0 の視準望遠鏡 1 7 と光学的に等価な位置に配置してもよく、この場合、外部標定要素の未知数の数を減らすことができるので、基準点の数を減らすことができる。また、デジタルスチルカメラ 2 0 が測量機 1 0 の視準望遠鏡 1 7 と光学的に等価な位置に配置されて概観画像が撮影された場合（撮像装置の撮像光学系の投影中心が視準望遠鏡の視準原点と光学的に等価な位置に配置されている場合）には、画像座標から直接水平角と高度角を算出でき、処理はより簡便なものとなる。

【 0 0 5 5 】

以下、デジタルスチルカメラ 2 0 が視準望遠鏡 1 7 と光学的に等価な位置に配置された場合の変形例について図 1 2 を参照して説明する。この場合、外部標定要素 (X_0 , Y_0 , Z_0 , ω , ϕ , κ) のうち、 $X_0 = Y_0 = Z_0 = 0$ となる。カメラ画像座標系の軸 y' が、測量機 1 0 の水平軸 Lh に対応するように配置されている場合には、測量座標系とカメラ座標系とは同一座標系と見なせるので、概観画

像内にある任意の測点 P_n (図 6 参照) に測量機 1 0 が視準されるとき、この測点 P_n に対応する像点 P'_n の位置 $(x_{P'_n}, y_{P'_n})$ は、概観画像撮影時の初期視準方向である水平角 θ_{h_0} と高度角 θ_{p_0} と、測量機 1 0 において視準される測点 P_n の水平角 θ_{h_n} 、高度角 θ_{p_n} と、撮像レンズ 2 2 の画面距離 f とから (ディストーション補正が必要な場合は内部定位要素も用いる)、

$$\begin{aligned} x_{P'_n} &= f \cdot \tan(\theta_{h_n} - \theta_{h_0}) / Px + W / 2, \\ y_{P'_n} &= f \cdot \tan(\theta_{p_n} - \theta_{p_0}) / Py + H / 2 \end{aligned} \quad \dots (9)$$

として直接求めることができる。したがって、概観画像上にて視準位置 $(x_{P'_n}, y_{P'_n})$ を指定すると、測点 P_n の水平角 θ_{h_n} 、高度角 θ_{p_n} が以下のように (9) 式から逆算でき、その方向に測量機 1 0 を向ければ視準が可能となる。

$$\begin{aligned} \theta_{h_n} &= \tan^{-1} (Px (x_{P'_n} - W / 2) / f) + \theta_{h_0} \\ \theta_{p_n} &= \tan^{-1} (Py (y_{P'_n} - H / 2) / f) + \theta_{p_0} \end{aligned} \quad \dots (10)$$

【0056】

図 1 2 は、この場合の作業手順のフローチャートである。

まず、ステップ S 6 0 1 において、図 2 の単写真評定処理により概観画像と測量座標を対応付ける。ステップ S 6 0 2 では、マウス 4 3 等を用いて概観画像上で視準点として例えば測点 P_n を指示し (図 6 参照)、指定された位置に視準マークを表示して視準位置を表示させる。ステップ S 6 0 3 では、指定された視準点 (測点 P_n) の概観画像上の位置 $P'_n (x_{P'_n}, y_{P'_n})$ を (10) 式に代入することにより視準角度 $(\theta_{h_n}, \theta_{p_n})$ を計算し、その方向に測量機を向け視準する。ステップ S 6 0 4 では、視準された視準点の表示 (色、形状、大きさの変更) を変えて概観画像上に表示し、この測量作業は終了する。

【0057】

この変形例によれば、作業者は視準が終了したことを概観画像上において視覚的に確認することができるのでより視準の操作性をあげることができる。

【0058】

次に別の変形例として、視準しようとする測点が測設点のように設計値として 3 次元位置情報をもっている場合、又は一度測量した測点 (3 次元情報がすでに存在) を再度視準する時などの視準点が 3 次元位置情報をもっている場合の測量

作業について説明する。視準しようとする測点 P_n の 3 次元情報が既知の場合には、測点 P_n の座標 (X_n, Y_n, Z_n) を数式 (7)、(8) の R_i (X_{Ri}, Y_{Ri}, Z_{Ri}) に代入し、測点 P_n の水平角 θ_{h_n} 、高度角 θ_{p_n} を計算し自動視準させることも可能である。図 13 はこのときの作業手順のフローチャートである。

【0059】

ステップ S701 では、図 2 の単写真標定処理により概観画像と測量座標を対応付ける。ステップ S702 では、概観画像上に 3 次元座標が既知の測点（例えば測設点）を表示させる。作業者はステップ S703 において、概観画像上においてマウス 43 等のポインティングデバイスを用いて、視準する測点を概観画像上で指示することにより視準方向を決定する。ステップ S704 では、指定された測点 P_n の 3 次元座標値を数式 (7)、(8) に代入することにより、視準角度 ($\theta_{h_n}, \theta_{p_n}$) を計算し、測量機をその方向へ視準する。ステップ S705 では、概観画像上において視準した測点の表示（色、形状、大きさの変更）変え、この測量作業の処理は終了する。

【0060】

この変形例においても、上記変形と略同様に視準が終了したことを概観画像上において視覚的に確認することができるので操作性をあげることができる。なお、ステップ S703 の測点指示時に選択された測点の表示マークを変更してもよい。上記測点として測設点を用いる場合において、測設点の設計座標系が測量現場での測量座標系と合致しない場合には、測設点の設計座標系での値を測量座標系の値に変換して行う。また逆も可能である。

【0061】

本実施形態では、ある画素に対する共線 LN_C 上の視準点 R_i 方向に測量機を向けて、このとき測定される測量座標 (X_{Qi}, Y_{Qi}, Z_{Qi}) を概観画像の画像座標 (x_{Qi}', y_{Qi}') に変換し、これがもとの画素の画像座標 (x_i', y_i') と一致するか否かを判定していたが、測量座標 (X_{Qi}, Y_{Qi}, Z_{Qi}) と視準点 R_i の測量座標 (X_{Ri}, Y_{Ri}, Z_{Ri}) が一致するかにより判定してもよい。

【0062】

なお、本実施形態では、概観画像上においてポインティングデバイスを用いて

任意に基準点を指定したが、撮影範囲内に例えば寸法が既知の基準尺や、任意に配置できる基準マーク等を配置し、これらを基準点として外部標定要素を求めてもよい。この場合、概観画像上において基準尺や基準マークの位置がポインティングデバイス等を用いて選択される。また基準尺や基準マークが用いられる場合には、例えば画像処理を用いて基準点の概観画像上の位置を自動的に検出してもよい。

【0063】

本実施形態では、測量機に接続されたコンピュータを用いたが、本実施形態のコンピュータの機能を測量機あるいはデジタルスチルカメラに一体的に持たせてもよい。また、本実施形態ではデジタルスチルカメラを使用したか、デジタル画像が得られるものならば、ビデオカメラ等でもかまわない。

【0064】

【発明の効果】

以上のように、本発明によれば、測量における作業効率を向上させることができる。また更に、本発明によれば、測量機で得られる測量情報とカメラで得られる画像情報とを簡便かつ効率的に関連付け、画像情報に基づく自動測量を行うことができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】

本発明の一実施形態である測量システムの構成を概略的に示すブロック図である。

【図2】

本実施形態の測量システムにおける単写真標定処理のフローチャートである。

【図3】

本実施形態の測量システムにおける測量機およびカメラの配置を概念的に示す図である。

【図4】

3つの基準点 P_1 、 P_2 、 P_3 と撮像面 S における像点 P_1' 、 P_2' 、 P_3' との関係を模式的に示す図である。

【図 5】

デジタルスチルカメラの位置および傾きを表す外部標定要素 ($X_0, Y_0, Z_0, \omega, \phi, \kappa$) 及びカメラの内部定位要素 ($f, D_2, D_4, D_6, N_1, N_2, X_C, Y_C$) を算出する空間後方交会法のプログラムのフローチャートである。

【図 6】

測量領域を確定したときの概観画像の 1 例である。

【図 7】

本実施形態における自動測量の原理を概略的に説明する図である。

【図 8】

本実施形態の自動測量処理動作のプログラムのフローチャートである。

【図 9】

図 8 のステップ S 3 0 3 において実行される物点探索処理のフローチャートである。

【図 1 0】

測量機の視準望遠鏡と測量座標系との関係を表わす図である。

【図 1 1】

図 9 のステップ S 4 0 1 において実行される単位共線ベクトル算出処理のフローチャートである。

【図 1 2】

デジタルスチルカメラが視準望遠鏡と光学的に等価な位置に配置された場合の変形例における作業手順のフローチャートである。

【図 1 3】

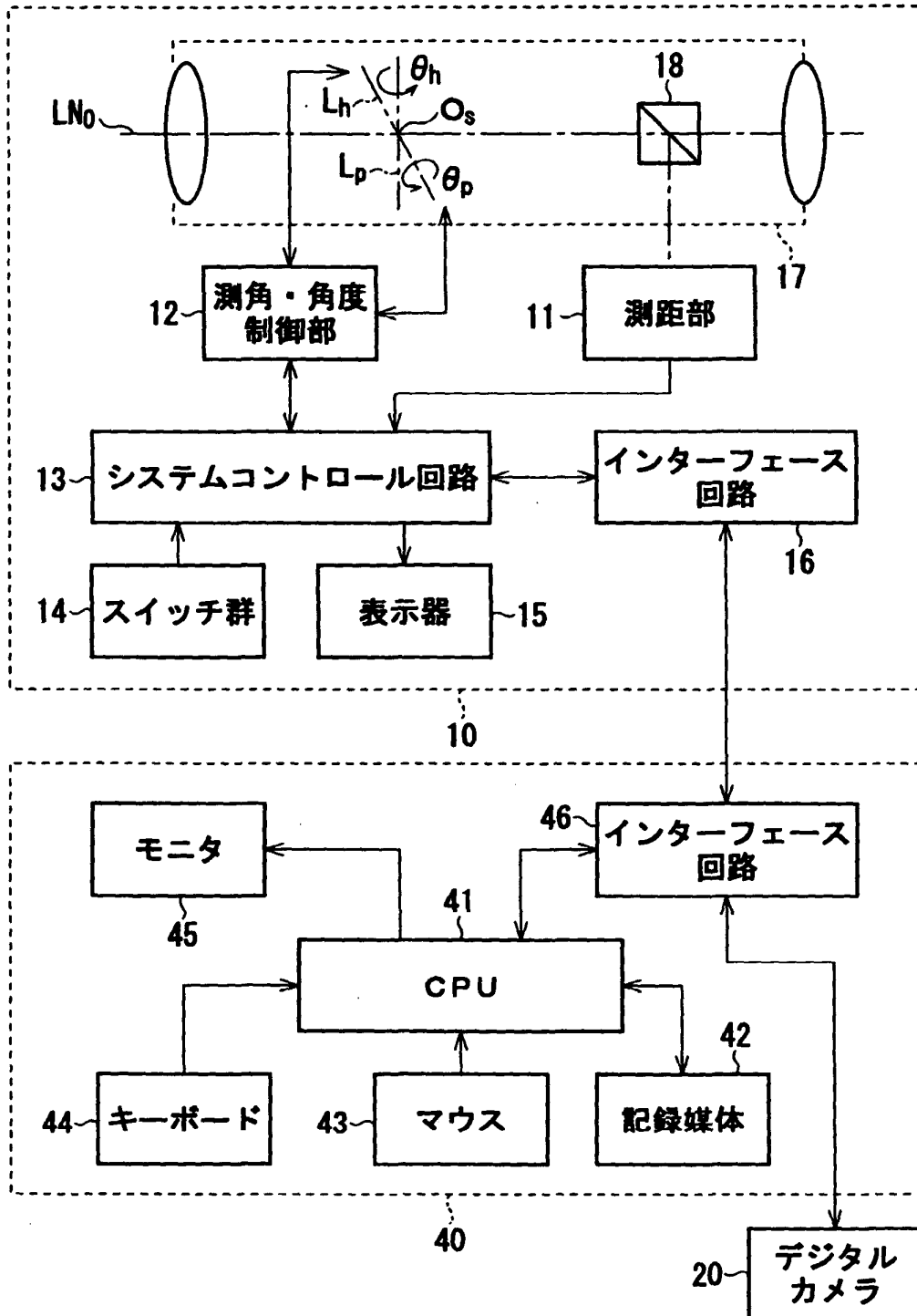
測点 P_n の座標 (X_n, Y_n, Z_n) に基づいて測点 P_n の水平角 θ_{h_n} 、高度角 θ_{p_n} を計算し自動視準させるときの作業手順のフローチャートである。

【符号の説明】

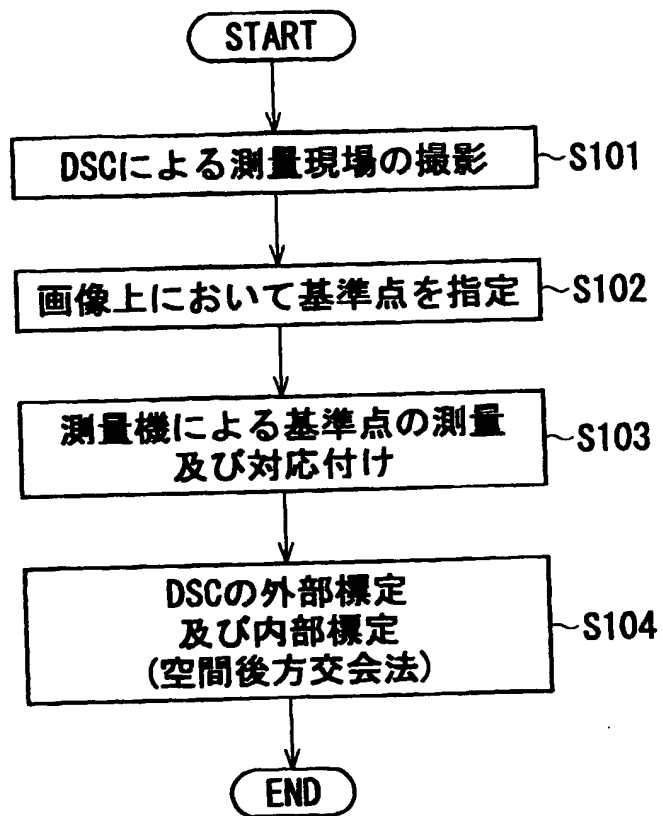
- 1 0 測量機
- 2 0 デジタルスチルカメラ
- 4 0 コンピュータ

【書類名】 図面

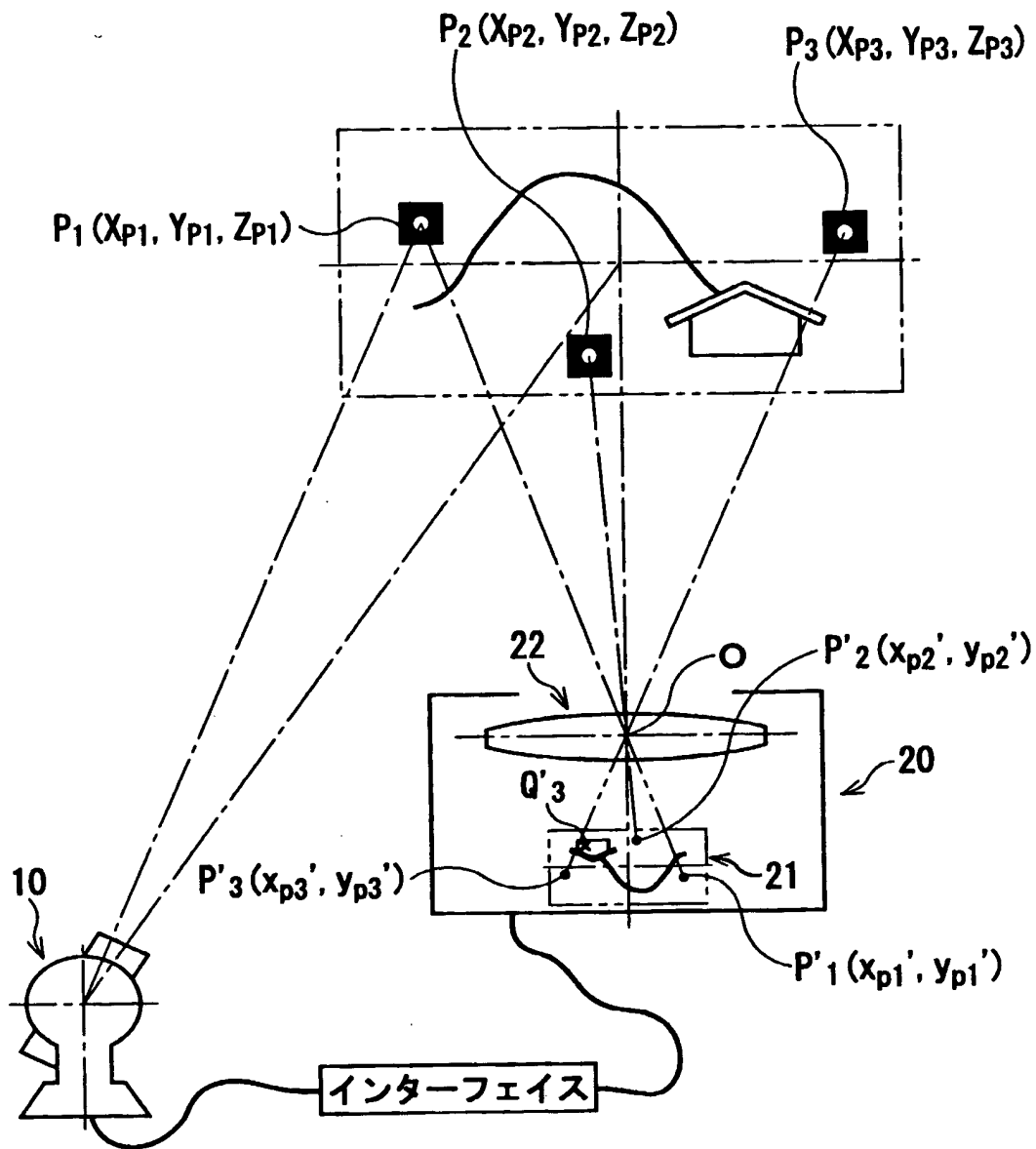
【図 1】



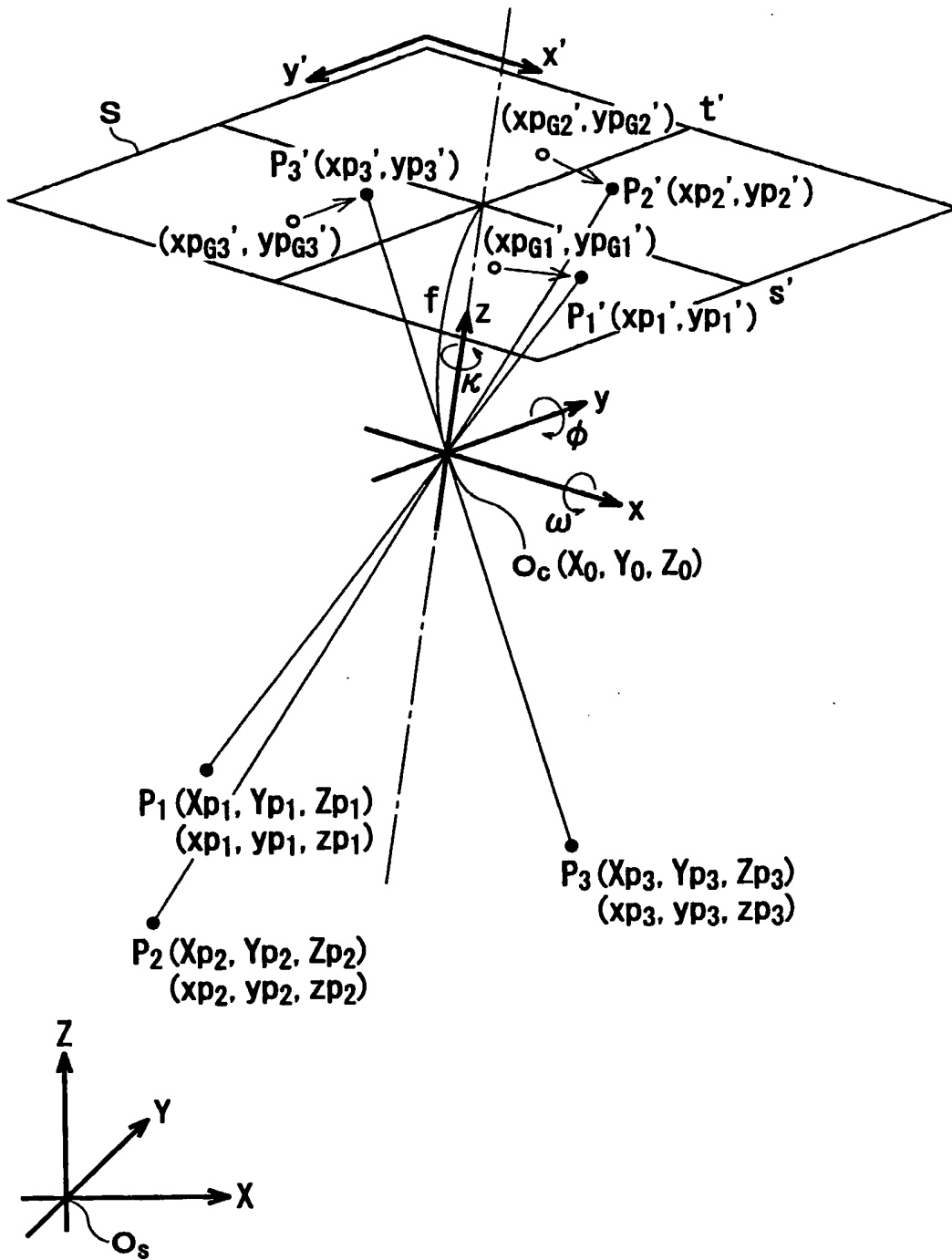
【図 2】



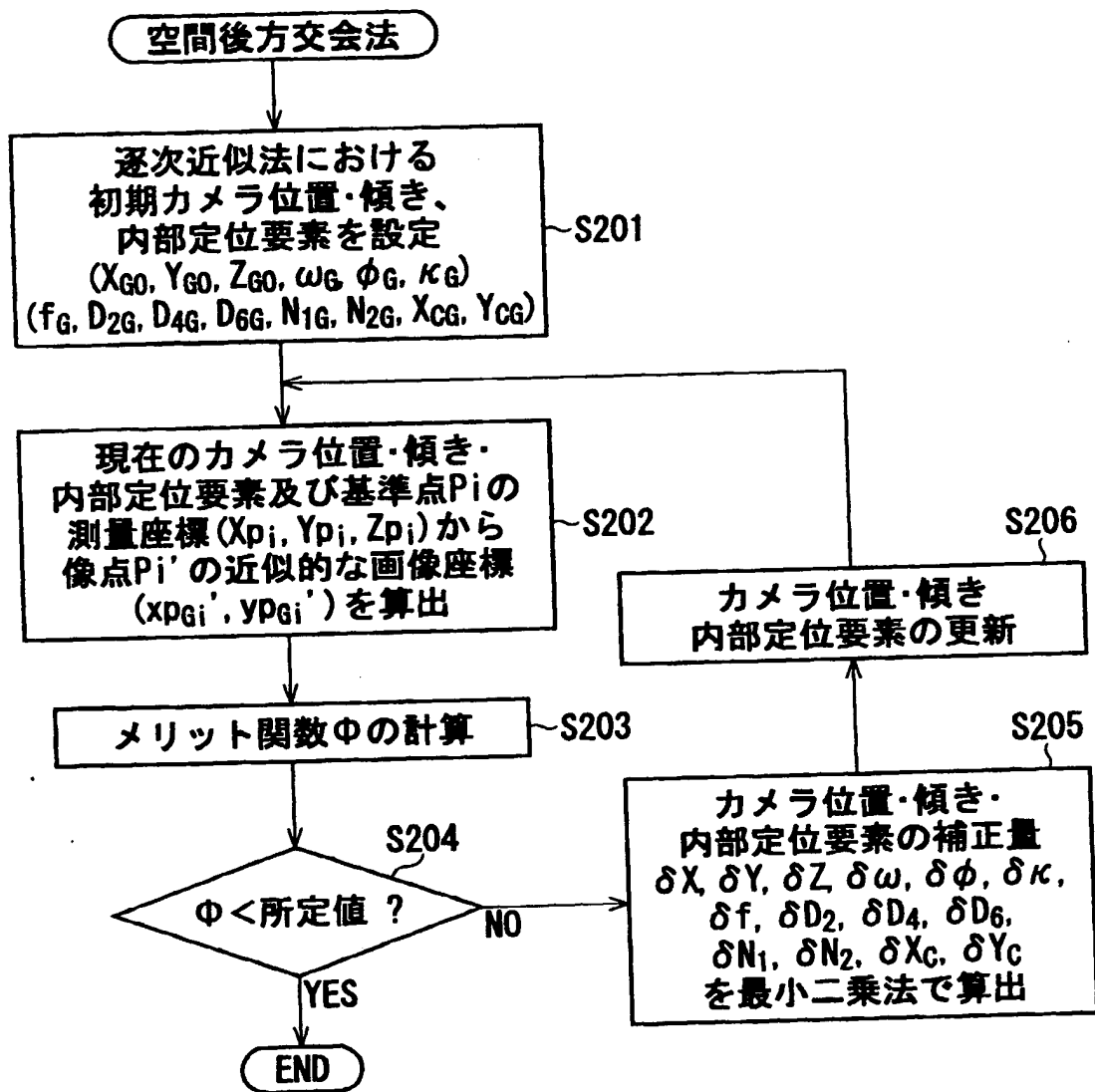
【図 3】



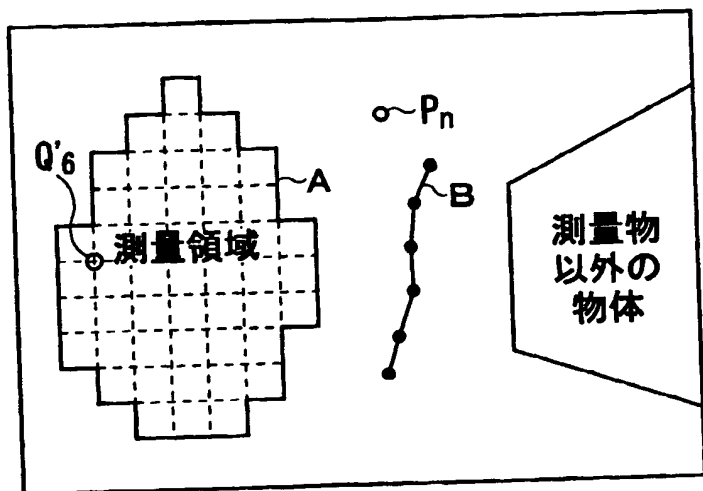
【図 4】



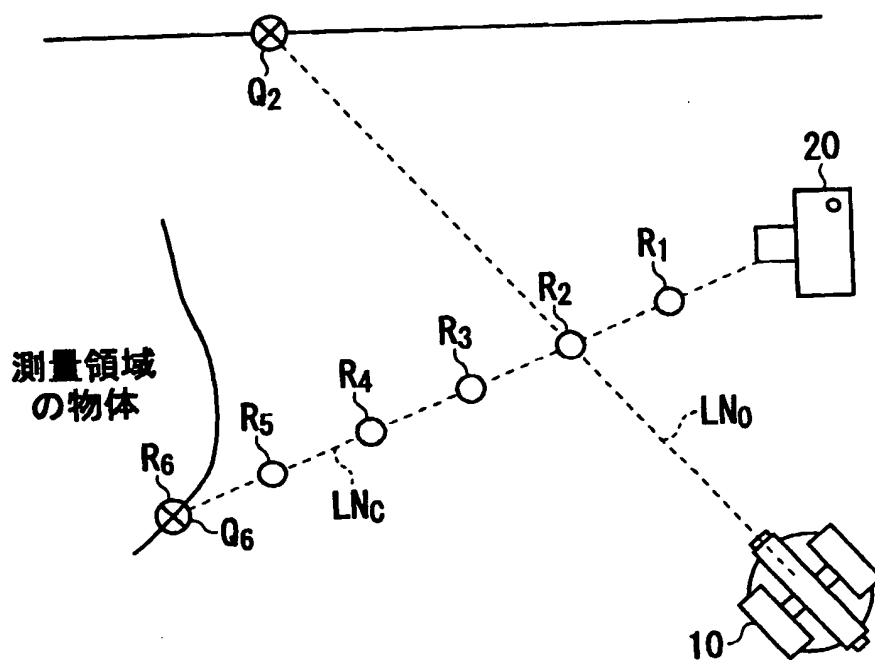
【図 5】



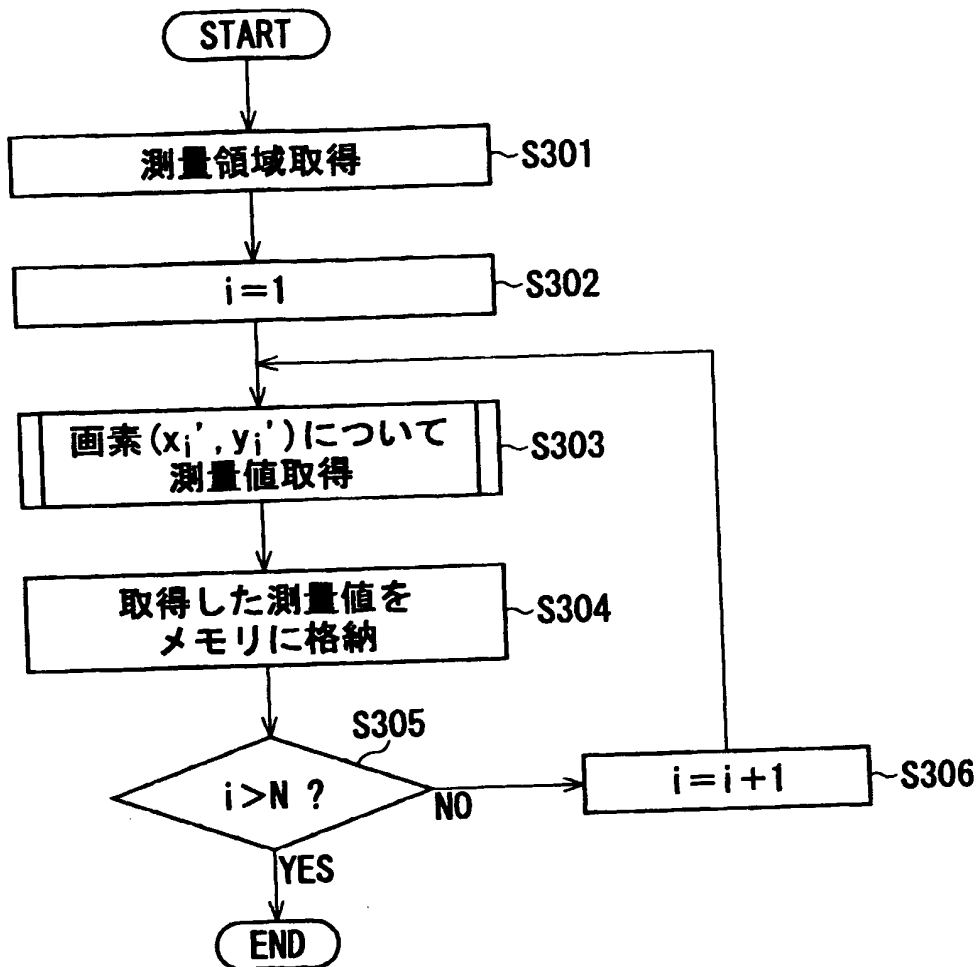
【図 6】



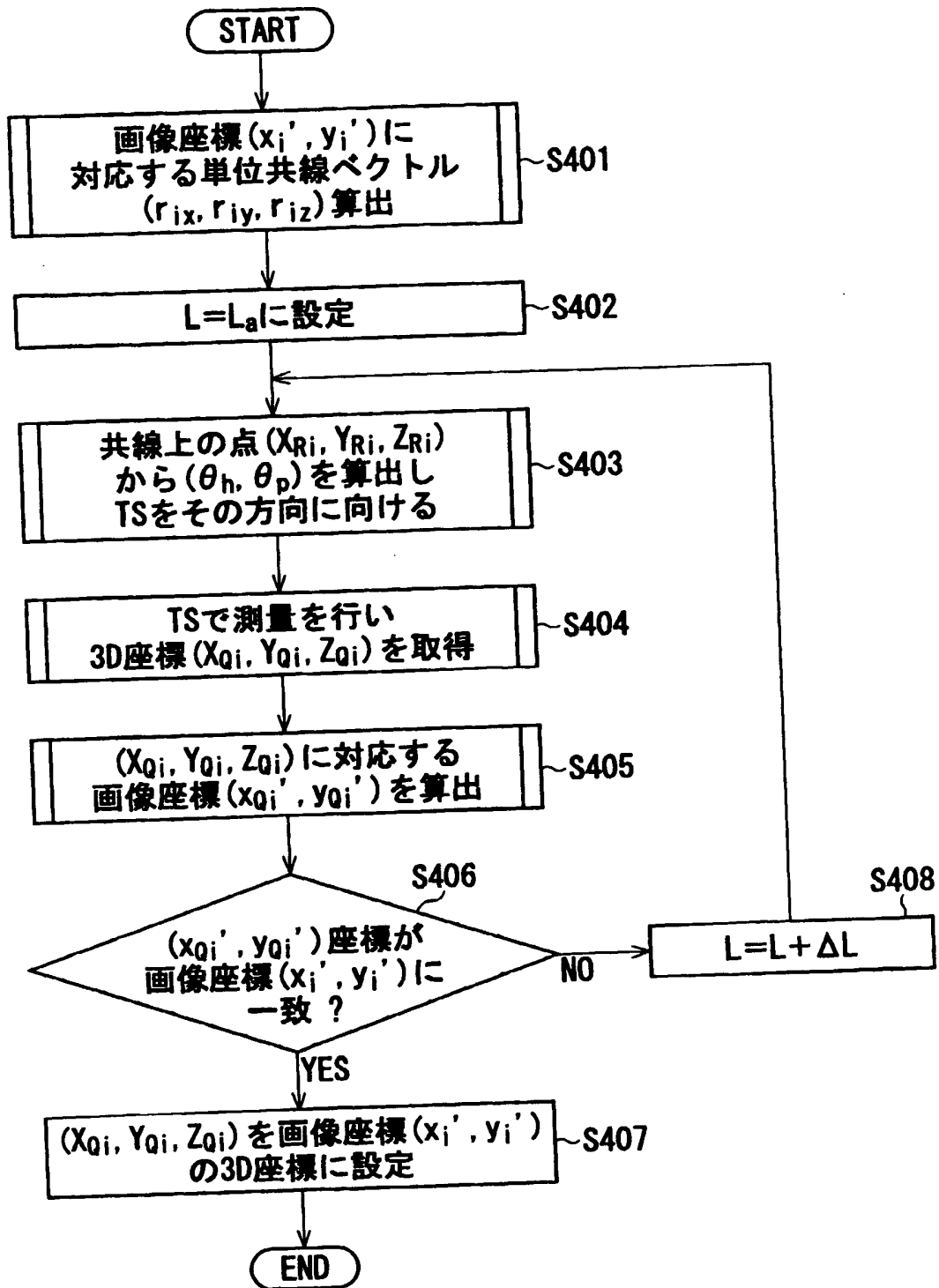
【図 7】



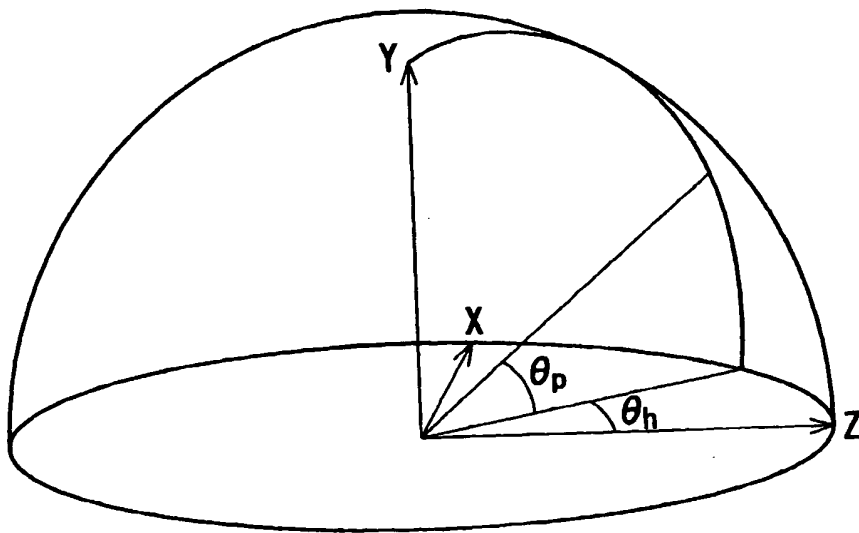
【図 8】



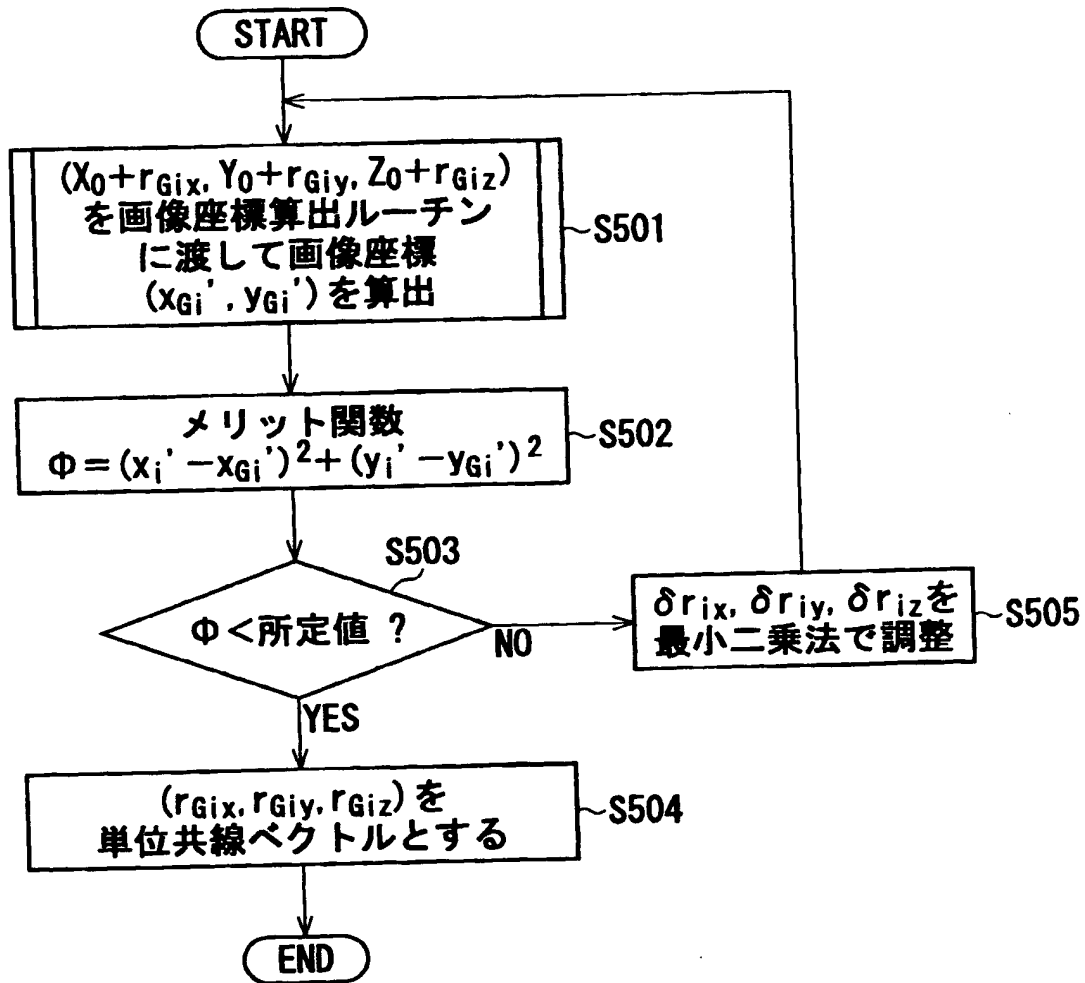
【図9】



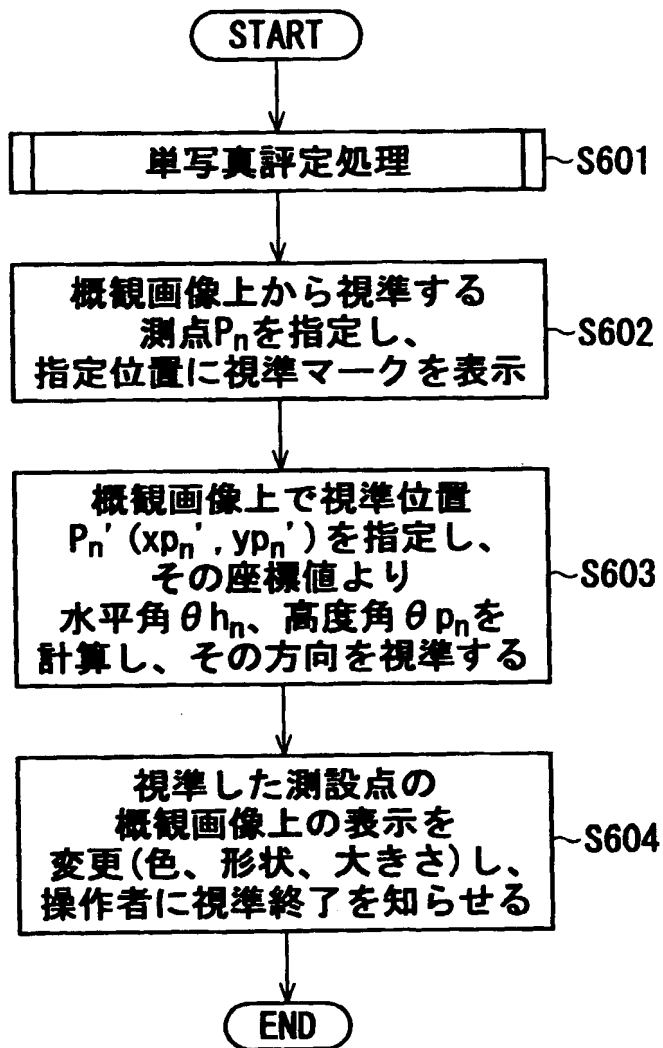
【図10】



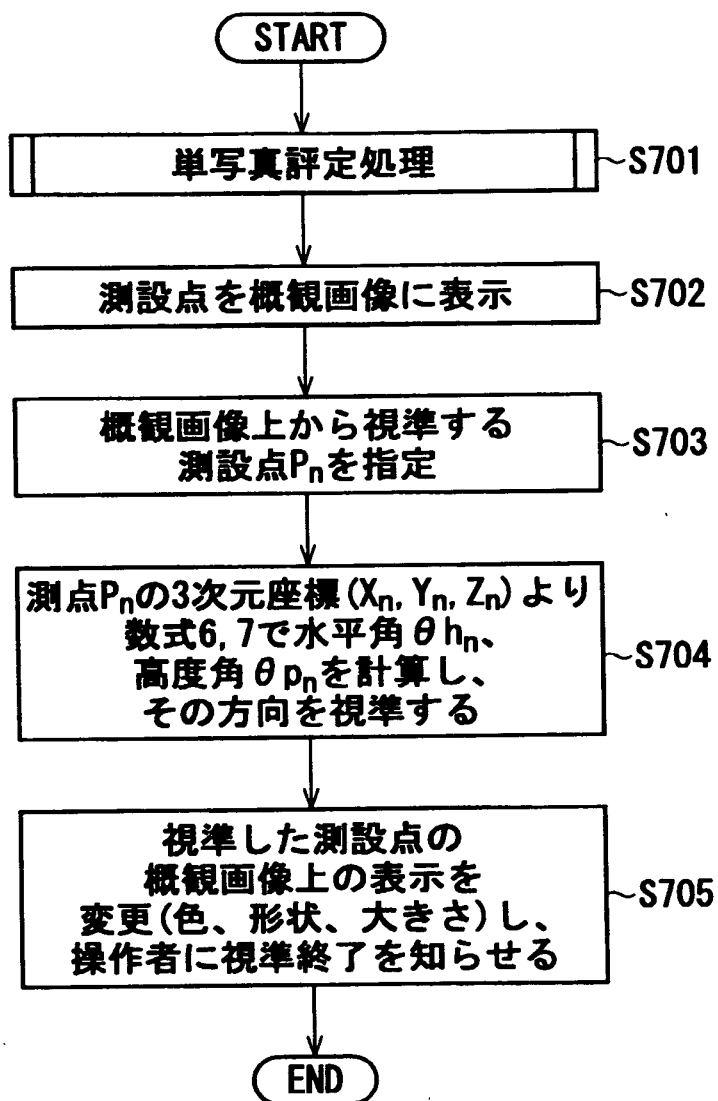
【図 1 1】



【図12】



【図 1 3】



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 測量現場の概観画像において指定される点・領域に対して自動測量を行う。

【解決手段】 デジタルスチルカメラ 20 で撮影された概観画像上で、測定したい画素（或は領域）を指定する。概観画像の測量機 10 に対する外部標定要素から、指定された画素に対する共線条件を規定する共線 LN_C を求める。測量機 10 の視線（視準方向） LN_0 を共線 LN_C に沿って移動し、共線 LN_C 上の視準点（ R_1 、 R_2 、 \dots ）に測量機 10 を視準して測量を行う。視準点 R_i に向けて測量したときに測定される物点 Q_i の位置を測定する。物点 Q_i の位置が共線 LN_C 上の点であれば、物点 Q_i を概観画像上で指定された画素に対する物点であるとする。領域が指定された場合は、領域内の各画素に対してこれらの動作を行う。

【選択図】 図 7

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号 [000000527]

1. 変更年月日 1990年 8月10日
[変更理由] 新規登録
住 所 東京都板橋区前野町2丁目36番9号
氏 名 旭光学工業株式会社
2. 変更年月日 2002年10月 1日
[変更理由] 名称変更
住 所 東京都板橋区前野町2丁目36番9号
氏 名 ペンタックス株式会社